



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 103 16 287.9

Anmeldetag: 9. April 2003

Anmelder/Inhaber: Siemens Audiologische Technik GmbH, Erlangen/DE

Bezeichnung: Richtmikrofon

IPC: H 04 R 1/34

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der
ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 22. Dezember 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Nitschke

Beschreibung

Richtmikrofon

- 5 Die Erfindung betrifft ein Richtmikrofon.

Moderne Hörgeräte greifen auf Richtmikrofonanordnungen zurück, die durch ihre richtungsabhängige Mikrofonempfindlichkeit eine Ausgrenzung von aus seitlichen und rückwärtigen
10 Richtungen kommenden Störsignalen ermöglichen. Dabei wird durch diesen räumlichen Effekt eine Verbesserung des Nutzsignal- zu Störgeräusch-Verhältnisses erreicht, so dass beispielsweise eine gesteigerte Sprachverständlichkeit des Nutzsignals vorliegt. Die herkömmlichen Richtmikrofonanordnungen
15 basieren auf einer Auswertung der Phasen-(Laufzeit-)-Differenzen, die sich bei einer ausbreitenden Schallwelle zwischen mindestens zwei räumlich getrennten Schallaufnahmeorten ergeben.

20 In Hörgeräten werden dazu bisher Gradientenmikrofone bzw. aus mehreren omnidirektionalen Schalldruckaufnehmern bestehende Richtmikrofonanordnungen erster und höherer Ordnung eingesetzt. Während erstere aus dem mechanischen Aufbau heraus die Differenz der von zwei Schalleintrittsöffnungen stammenden
25 Schallsignale bestimmen, kann bei Kombination mehrerer Schalldruckaufnehmer über eine geeignete Signalverarbeitung eine gute statische oder gar adaptiv veränderliche Richtwirkung erreicht werden.

30 Allerdings werten alle bekannten Verfahren in gleicher Weise die Unterschiede der an den Schalleintrittsöffnungen vorliegenden Schallsignale aus. Da nun bei Hörgeräteanwendungen bauartbedingt die Abstände zwischen den Schalleintrittsöffnungen sehr klein sind, führt dies dazu, dass bei tieferen
35 Frequenzen, bei denen die Schallwellenlänge sehr viel größer als die Abstände der Mikrofoneinlassöffnungen ist, die festzustellenden Unterschiede zwischen den Audiosignalen und da-

mit auch die zu erzielende Richtwirkung sehr gering sind. Typischerweise besitzen alle Richtmikrofonanordnungen bei tieferen Frequenzen eine deutlich reduzierte Richtwirkung, Anordnungen aus mehreren Druckaufnehmern stellen überdies sehr hohe Ansprüche an den Amplituden- und Phasenabgleich der Mikrofone.

Aus der US 4974117 ist ein differentieller Druckwandler bekannt, der zwei Membranen kapazitiv koppelt. Dabei wird die Druckdifferenz gemessen zwischen dem Druck im Volumen zwischen den Membranen und dem Druck im Volumen, welches die beiden Membrane umgibt.

In Anlehnung an das Hörorgan der ,Ormia'-Fliege, welches mithilfe einer mechanischen Kopplung zweier Hörmembrane eine einzigartige Richtwirkung erreicht, werden verschiedene Ansätze zum Einsatz von mechanisch gekoppelten Hörmembranen in Hörhilfsgeräten verfolgt. Beispielsweise werden bei einem auf Silizium-Mikromechanik basierenden Mikrofonssystem die schwingungsfähigen Membrane zweier selbständig nebeneinander angeordneter Mikrofone über einen Steg negativ miteinander mechanisch verkoppelt, siehe "Mechanically coupled ears for directional hearing in the parasitoid fly *Ormia ochracea*", R.N. Miles, D. Robert, R.R. Hoy, Journal of the Acoustical Society of America 98 (1995), S. 3059.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Richtmikrofon und ein Hörhilfsgerät anzugeben, dass bei einer möglichst kleinen Bauform eine gute Richtwirkung erreicht.

30

Die erstgenannte Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Richtmikrofon mit zwei Membranen, die einerseits jeweils über ein Luftvolumen mit einer von zwei räumlich getrennten Schalleinlassöffnungen akustisch verbunden sind und andererseits über ein drittes Luftvolumen miteinander akustisch verkoppelt sind, und mit Mitteln zum Erzeugen mindestens eines

35

Ausgangssignals des Richtmikrofons aus der Schwingung einer der beiden Membranen.

Die erhöhte Richtungsauflösung eines Richtmikrofons nach der
5 Erfindung wird durch die akustische Verkopplung zweier unab-
hängiger Membrane erreicht. Die Kopplung erfolgt durch ein
geringes Luftvolumen, welches sich zwischen den Membranen be-
findet. Trifft eine Schallwelle unter einem bestimmten
Schalleinfallswinkel auf das Richtmikrofon, so erreicht die
10 Schallwelle die beiden Mikrofonmembrane zu unterschiedlichen
Zeitpunkten. Die Schallwelle wird von den Membranen auf das
Volumen zwischen den beiden Membranen weitergeleitet. Dies
bewirkt eine komplexe Wechselwirkung der beiden mechanisch
schwingungsfähigen Membranen. Je nach Einfallsrichtung stellt
15 sich aufgrund der Laufzeitunterschiede zwischen den auf die
Membrane wirkenden Schallwellen ein Amplituden- und Phasenun-
terschied ein. Bei einem symmetrischen Einfall, bei dem die
Schallwelle gleichzeitig auf die beiden Membrane trifft, sind
die in die akustische Kopplung eingespeisten Schalldrucke
20 gleich groß, d.h. sie befinden sich im Gleichgewicht. Werden
die Schwingungen mit Mitteln zum Erzeugen eines Ausgangssig-
nals, beispielsweise mit üblichen Mikrofonensoren, gemessen,
so sind in diesem Fall die Ausgangssignale der beiden Mikro-
fonmembrane im Idealfall gleich groß. Sie unterscheiden sich
25 dagegen bei einem asymmetrischen Einfall der Schallwelle.

Ein Vorteil der Erfindung liegt darin, dass ein Richtmikrofon
nach der Erfindung einen sehr kleinen und kompakten Aufbau
aufweist. Die Ausmaße des Aufbaus sind vorwiegend gegeben
30 durch die Größe der Membranen und durch die Luftvolumina, die
einerseits die Verbindung zu den Schalleinlassöffnungen her-
stellen und andererseits die beiden Membrane miteinander ver-
koppeln. Unter akustischer Verkopplung wird eine Verkopplung
verstanden, welche durch eine Schallwelle erzeugt wird, die
35 sich in der Luft im dritten Luftvolumen bildet. Ein weiterer
Vorteil liegt darin, dass aufgrund der akustischen Kopplung
der an den beiden Schalleintrittsöffnungen vorliegenden

Schalldrucke Membranschwingungen erzeugt werden, die von der Schalleinfallrichtung abhängen.

5 In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform des Richt-
mikrofons bilden eine elektrische Schicht auf einer der bei-
den Membranen und eine Gegenelektrode zu dieser elektrisch
leitenden Schicht ein kapazitives Wandlerelement. Ein solches
kapazitives Wandlerelement ermöglicht es, aus der Schwingung
der Membran ein Ausgangssignal zu erzeugen. Ein solches Wand-
10 lerelement hat den Vorteil, dass die Technologie solcher so-
genannter kapazitiver Mikrofone auf das Richtmikrofon über-
tragen werden kann.

15 In einer vorteilhaften Ausführungsform ist die Gegenelektrode
zwischen den beiden Membranen, die parallel zueinander ange-
ordnet sind, angeordnet, wobei ein kleiner Luftspalt jeweils
zwischen einer der beiden Membranen und der Gegenelektrode
liegt. Zur Gewährleistung der akustischen Kopplung der beiden
Membranen weist die Gegenelektrode Luftdurchführungen auf.
20 Dies hat den Vorteil, dass die Kopplung mithilfe der Größe
der Luftdurchführungen in ihrer Stärke eingestellt werden
kann.

25 In einer besonders vorteilhaften Weiterbildung sind beide
Membrane leitend beschichtet und bilden mit der Gegenelekt-
rode jeweils ein kapazitives Wandlerelement. Jedes Wandler-
element erzeugt dabei ein Ausgangssignal, welches sich in
seiner Amplitude und in der Phase in Abhängigkeit der Ein-
fallrichtung eines akustischen Signals vom jeweils anderen
30 Ausgangssignal unterscheidet. Anhand dieser Unterschiede kann
auf die Einfallrichtung rückgeschlossen werden.

In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform weist das
Richtmikrofon zusätzlich eine Signalverarbeitungseinheit und
35 ein omnidirektionales Mikrofon auf, wobei das Mikrofonsignal
mithilfe der Signalverarbeitungseinheit zur Erzeugung des
Ausgangssignals des Richtmikrofons entsprechend einer Richt-

charakteristik verwendet wird. Dabei kann das omnidirektionale Mikrofon entweder in einem Gehäuse mit den beiden Membranen zusammengefasst werden, oder das omnidirektionale Mikrofon kann mit Abstand zu den Membranen als eigenständige

5 Einheit ausgebildet sein. Diese Ausbildungsform hat den Vorteil, dass mit dem Mikrofonsignal des omnidirektionalen Mikrofons eine richtungsunabhängige Vergleichsgröße zur Verfügung steht, die mithilfe der Signalverarbeitungseinheit mit dem Ausgangssignal, das auf der Schwingung eine oder beide
10 Membrane beruht, kombiniert werden kann.

Die zweitgenannte Aufgabe wird durch ein Hörhilfsgerät mit einem solchen Richtmikrofon gelöst.

15 Weitere vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind durch die Merkmale der Unteransprüche gekennzeichnet.

Es folgt die Erläuterung von mehreren Ausführungsbeispielen der Erfindung anhand der Figuren 1 bis 5. Es zeigen

20

FIG 1 den schematischen Aufbau eines Richtmikrofons mit zwei Membranen nach der Erfindung im Querschnitt,

25 FIG 2 einen simulierte Frequenzabhängigkeit von Betrag und Phase eines Ausgangssignals, das sich für die beiden Membrane bei einem Schallfeld ergibt, das unter einem Winkel von $12,5^\circ$ einfällt,

30

FIG 3 eine richtungsabhängige Empfindlichkeitsverteilung eines Ausgangssignals einer einzelnen Membran bei 300 Hz,

35

FIG 4 eine richtungsabhängige Empfindlichkeitsverteilung eines Ausgangssignals einer einzelnen Membran bei 1600 Hz und

FIG 5 ein Funktionsschema eines Richtmikrofonsystems, das ein omnidirektionales Mikrofon, ein Richtmikrofon mit zwei Membranen und eine Signalverarbeitungseinheit aufweist.

5

Figur 1 zeigt einen schematischen Aufbau eines Richtmikrofons 1 mit einem zylindrisch geformten Gehäuse 3 im Schnitt entlang der Zylinderachse 4. Im Gehäuse 3 befinden sich zwei vorzugsweise senkrecht zur Zylinderachse 4 angeordnete Membrane 5A, 5B, die über Halterungen 6 am Gehäuse 3 vorzugsweise luftdicht befestigt sind. Die Membrane 5A, 5B sind mit Luftvolumina 7A, 7B in Kontakt. Trifft eine Schallwelle auf die Schalleinlassöffnungen 9A, 9B, so gelangt sie in die Luftvolumina 7A, 7B und bewirkt eine Auslenkung (Schwingung) der Membranen 5A, 5B aufgrund des durch die Schallwelle geänderten Drucks. Zwischen den beiden Membranen 5A, 5B befindet sich ein drittes Luftvolumen 11 und eine Gegenelektrode 13. Das Luftvolumen 11 setzt sich aus zwei Luftspalten 14A, 14B zusammen, die zwischen der Gegenelektrode 13 und den beiden Membranen 5A, 5B vorliegen, sowie aus Luftdurchführungen 15A, 15B, welche die Gegenelektrode 13 durchsetzen. Die Luftdurchführungen 15A, 15B sind z.B. runde, parallel zueinander und im Wesentlichen senkrecht zu den Membranen verlaufende Luftkanäle. Das Luftvolumen 11 bewirkt eine akustische Kopplung der beiden Membrane 5A, 5B, die zu einer negativen Gegenkopplung führt, da, falls beispielsweise die Membran 5A durch ein einfallendes Schallfeld von der Mitte des Richtmikrofons 1 betrachtet nach außen schwingt, aufgrund der negativen Kopplung die gegenüberliegende Membran 5B zur Mitte des Richtmikrofons 1 bewegt wird.

30

Die Membran 5A weist eine Durchtrittsöffnung 17 auf, die einen barometrischen Druckausgleich des Luftvolumens 11 über das mit der Umgebung verbundene Luftvolumen 7A ermöglicht.

35

Fällt beispielsweise entsprechend der eingezeichneten Winkelskala eine Schallwelle aus 270° auf das Richtmikrofon 1, wird

zuerst die Membran 5A anfangen zu schwingen. Aufgrund der Schwingung der Membran 5A wird das Luftvolumen 11 ein Druckänderung erfahren und diese auf die Membran 5B übertragen, so dass auch die Membran 5B zu schwingen beginnt. Diese Schwingung wird mit der zu einem späteren Zeitpunkt im Volumen 7B eintreffende Schallwelle überlagert. Der Schalldruck der Schallwelle im Volumen 7B wird seinerseits über die Schwingung der Membran 5B auf das Luftvolumen 11 übertragen, welches wiederum die Kopplung mit der Membran 5A bewirkt.

Die akusto-elektrische Wandlung der Schwingungen der Membrane 5A, 5B kann beispielsweise mit Hilfe eines kapazitiven Wandlersystems erfolgen. Bei einem solchen System wird eine Art Plattenkondensator aus der Gegenelektrode 13 und einer elektrisch leitenden Schicht 19A, 19B auf einer der Membranen 5A, 5B gebildet. Bei einem derartigen Kondensatormikrofon wird der Kondensator mittels einer Polarisationsspannung aufgeladen. Aufgrund der Schallsignale ändert sich der Abstand zwischen der Schicht auf der Membran 5A, 5B und der Gegenelektrode 13 und es stellt sich eine Kapazitätsänderung des Kondensators ein, welche mit einem elektronischen Impedanzwandler detektiert und in eine elektrische Spannung umgewandelt wird. Alternativ könnte ein Elektret-Kondensatormikrofon verwendet werden, bei dem auf der Membran 5A, 5B oder auf der Oberfläche der Gegenelektrode 13 eine elektrische Ladung permanent gespeichert wird. Auch die Verwendung von Digitalmikrofon- oder Tauchspulmikrofon-Wandlertechnologie ist zur akusto-elektrischen Wandlung verwendbar.

Figur 2 gibt eine für die Membrane 5A, 5B simulierte Frequenzabhängigkeit von Betrag A und Phase Φ eines Ausgangssignals wieder. Dabei wurde ein Schalleinfallswinkel von $12,5^\circ$ (in Figur 1 angedeutet) und ein Abstand der Mikrofon-Einlassöffnungen von 4 mm angenommen. Im oberen Teil der Abbildung werden die Beträge A_{5A}, A_{5B} der beiden Membranschwingungen über die Frequenz f in einem Frequenzbereich von 10 Hz bis 10 kHz abgebildet. Im unteren Teil der Abbildung wird entsprechend

der Verlauf der Phasen Φ_{5A} , Φ_{5B} der Ausgangssignale gezeigt. Bei einer Schalleinfallrichtung von $12,5^\circ$ ergibt sich ein Laufzeitunterschied der einfallenden Schallwelle auf die beiden Membrane 5A, 5B von $2,5\mu\text{sec}$. Auch bei diesem minimalen Unterschied zeigt sich bereits bei einer Frequenz von 300Hz ein deutlich detektierbarer Unterschied zwischen den beiden Mikrofonen in Betrag A und Phase Φ . Mit zunehmender Frequenz f wird der Unterschied immer ausgeprägter.

Figur 3 zeigt eine simulierte richtungsabhängige Empfindlichkeitsverteilung 21_{5A} eines Ausgangssignals der ,linken' Membran 5A bei 300Hz. Diese sogenannte Richtcharakteristik ist normiert auf die Empfindlichkeit bei einem Schalleinfallswinkel von 0° , welche auf den Wert 1 normiert ist und durch den Kreis N verdeutlicht wird. Die Winkeleinteilung entspricht der aus Figur 1. Man erkennt eine deutlich höhere Empfindlichkeit auf der der Membran 5A zugeordneten Seite sowie eine niedrigere Empfindlichkeit auf der anderen Seite. Zusätzlich kommt es zu starken Phasenunterschieden zwischen den Ausgangssignalen der beiden Membranen 5A, 5B.

Figur 4 zeigt eine entsprechende Empfindlichkeitsverteilung 23_{5A} eines Ausgangssignals der ,linken' Membran 5A bei 1600Hz. Die Struktur dieser Richtcharakteristik wird durch zwei Bereiche erhöhter Empfindlichkeit dominiert, die sich bei 90° und 270° befinden. Wiederum ist die Empfindlichkeit auf der der Membran 5A zugeordneten Seite größer und es liegen starke Phasenunterschiede zwischen den Ausgangssignalen vor.

Figur 5 zeigt ein Funktionsschema eines Richtmikrofonsystems, das ein omnidirektionales Mikrofon 27, ein Richtmikrofon 29 mit zwei Membranen und eine Signalverarbeitungseinheit 31 aufweist. Ein oder beide Signale der Membrane des Richtmikrofons 29 werden mit dem Signal des omnidirektionalen Mikrofons 27 in der Signalverarbeitungseinheit 31 zu einem an einem Ausgang 32 vorliegenden

Ausgangssignal gemischt, dem eine Richtcharakteristik 33 zugeordnet wird. Die Signalverarbeitungseinheit könnte zusätzlich die Mischung derart kontrollieren, dass die Richtwirkung an das Schallfeld adaptiv angepasst wird.

5

In einer einfachen Ausführungsform wird nur ein Signal einer Membran, welches alleine schon in Hinblick auf die Richtungsempfindlichkeit einer Verbesserung gegenüber einem Gradientenmikrofon darstellt, verwendet und eventuell zusammen mit einem omnidirektionalen Mikrofon in einem Gehäuse oder in getrennten Gehäusen betrieben.

10

Patentansprüche

1. Richtmikrofon (1,25,33) mit zwei Membranen (5A,5B), die
einerseits jeweils über ein Luftvolumen (7A,7B) mit einer von
5 zwei räumlich getrennten Schalleinlassöffnungen (9A,9B) akus-
tisch verbunden sind und andererseits über ein drittes Luft-
volumen (11) miteinander akustisch verkoppelt sind, und mit
Mitteln (13,19A,19B) zum Erzeugen mindestens eines Ausgangs-
signals des Richtmikrofons (1,25,33) aus der Schwingung einer
10 der beiden Membranen (5A,5B).

() 2. Richtmikrofon (1,25,33) nach Anspruch 1,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die
Mittel (13,19A,19B) zum Erzeugen des Ausgangssignals eine
15 elektrisch leitende Schicht (19A,19B) auf einer der beiden
Membranen (5A,5B) umfassen.

3. Richtmikrofon (1,25,33) nach Anspruch 1,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die
20 Mittel (13,19A,19B) zum Erzeugen des Ausgangssignals eine Ge-
genelektrode (13) zur elektrisch leitenden Schicht (19A,19B)
umfassen.

() 25 4. Richtmikrofon (1,25,33) nach Anspruch 1,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die
elektrisch leitende Schicht (19A,19B) und die Gegenelektrode
(13) ein kapazitives Wandlerelement bilden.

5. Richtmikrofon (1,25,33) nach Anspruch 1,
30 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass beide
Membrane (5A,5B) elektrisch leitend beschichtet sind und mit
der Gegenelektrode (13) jeweils ein kapazitives Wandlerele-
ment bilden.

35 6. Richtmikrofon (1,25,33) nach Anspruch 1,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass beide
Membrane (5A,5B) parallel zu einander angeordnet sind.

7. Richtmikrofon (1,25,33) nach Anspruch 1,
da durch gekennzeichnet, dass die
Gegenelektrode (13) zwischen beiden Membranen (5A,5B) ange-
5 ordnet ist, wobei ein Luftspalt (14A,14B) jeweils zwischen
einer der beiden Membranen (5A,5B) und der Gegenelektrode
(13) liegt.

8. Richtmikrofon (1,25,33) nach Anspruch 1,
10 da durch gekennzeichnet, dass die
Gegenelektrode (13) Luftdurchführungen (15A,15B) zur akusti-
schen Kopplung aufweist.

9. Richtmikrofon (1,25,33) nach Anspruch 1,
15 da durch gekennzeichnet, dass die
Luftdurchführungen (15A,15B) parallel zueinander und senk-
recht zu den Membranen (5A,5B) verlaufend angeordnet sind.

10. Richtmikrofon (1,25,33) nach Anspruch 1,
20 da durch gekennzeichnet, dass eine
der beiden Membrane (5A,5B) eine kleine Durchtrittsöffnung
(17) zum barometrischen Druckausgleich aufweist.

11. Richtmikrofon (1,25,33)
25 da durch gekennzeichnet, dass eine
Signalverarbeitungseinheit (33) und ein omnidirektionales
Mikrofon (27) vorhanden sind, wobei das Mikrofonsignal des
omnidirektionalen Mikrofons (27) mithilfe der Signalverarbei-
tungseinheit (33) zur Erzeugung des Ausgangssignals des
30 Richtmikrofons (1,25,33) entsprechend einer Richtcharakteris-
tik (33) verwendet wird.

12. Hörhilfsgerät mit einem Richtmikrofon (1,25,33) nach ei-
nem der Ansprüche 1 bis 11.

Zusammenfassung

Richtmikrofon

- 5 Ein Richtmikrofonsystem (1,25,33) weist zwei Membrane (5A,5B) auf, die einerseits jeweils über ein Luftvolumen (7A,7B) mit einer von zwei räumlich getrennten Schalleinlassöffnungen (9A,9B) akustisch verbunden sind und andererseits über ein drittes Luftvolumen (11) miteinander akustisch verkoppelt
10 sind, sowie Mittel (13,19A,19B) zum Erzeugen mindestens eines Ausgangssignals des Richtmikrofons (1,25,33) aus der Schwingung einer der beiden Membrane (5A,5B) auf.

()
FIG 1

15

FIG 1

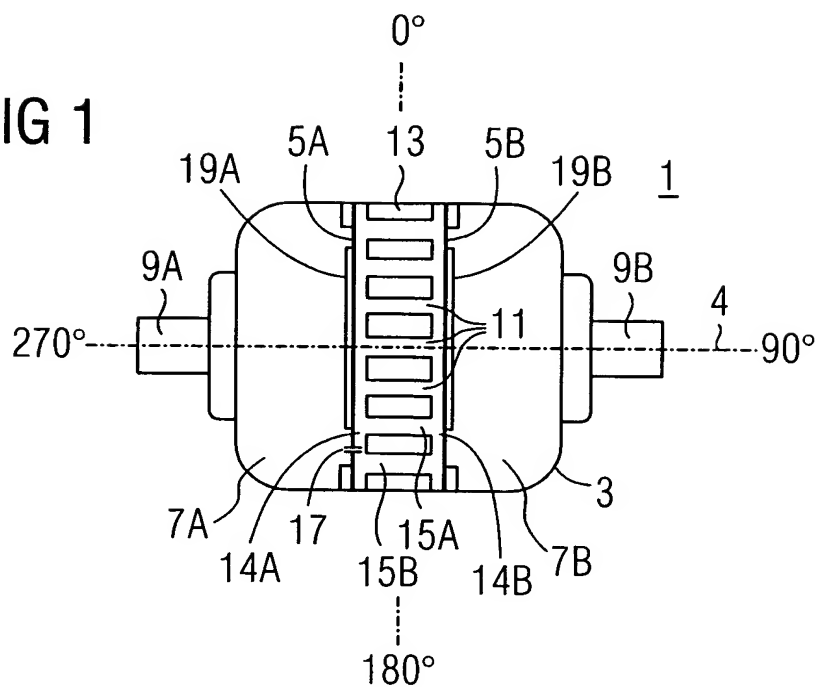
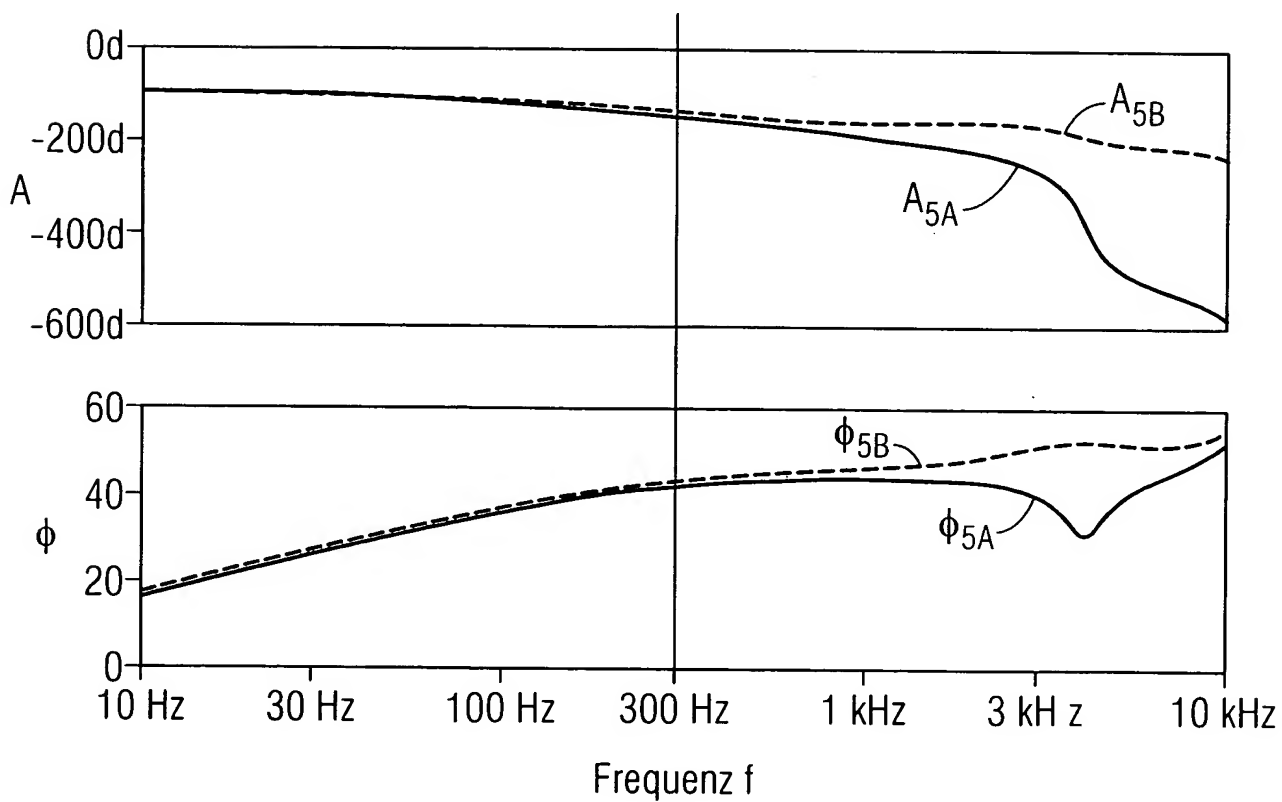


FIG 2



2/2

FIG 3

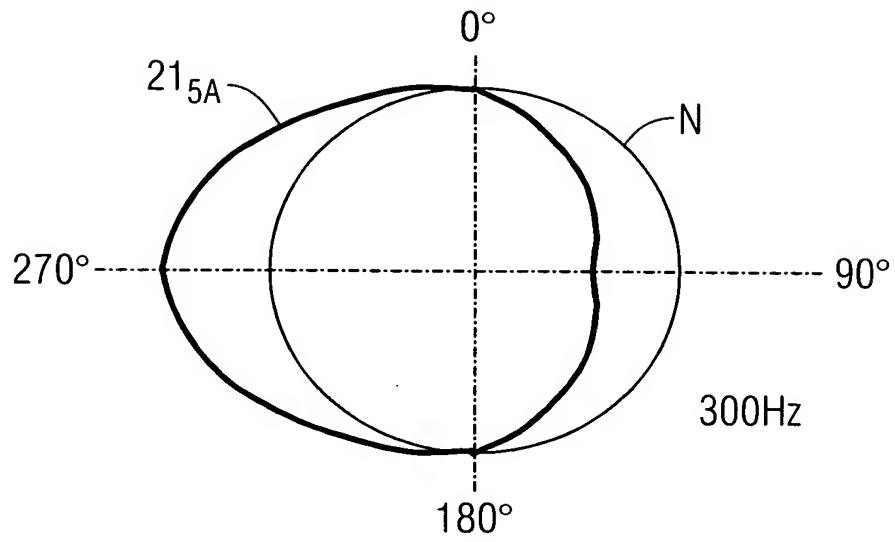


FIG 4

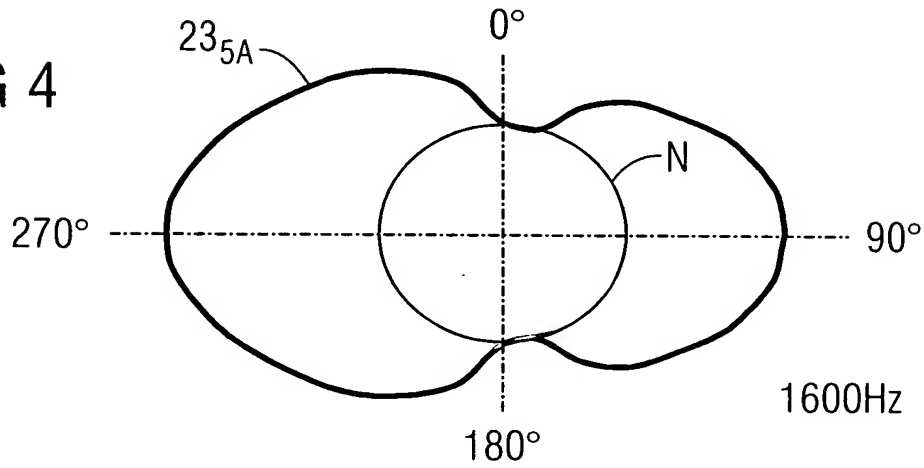


FIG 5

